

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

IN RE APPLICATION OF: Katsumi HORIGUCHI, et al.

GAU:

SERIAL NO: New Application

EXAMINER:

FILED: Herewith

FOR: PLASMA PROCESSING METHOD

REQUEST FOR PRIORITY

COMMISSIONER FOR PATENTS
ALEXANDRIA, VIRGINIA 22313

SIR:

- ☐ Full benefit of the filing date of U.S. Application Serial Number , filed , is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §120.
- ☐ Full benefit of the filing date(s) of U.S. Provisional Application(s) is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119(e):
Application No. Date Filed
- ☒ Applicants claim any right to priority from any earlier filed applications to which they may be entitled pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119, as noted below.

In the matter of the above-identified application for patent, notice is hereby given that the applicants claim as priority:

<u>COUNTRY</u>	<u>APPLICATION NUMBER</u>	<u>MONTH/DAY/YEAR</u>
Japan	2003-096631	March 31, 2003

Certified copies of the corresponding Convention Application(s)

- ☒ are submitted herewith
- ☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee
- ☐ were filed in prior application Serial No. filed
- ☐ were submitted to the International Bureau in PCT Application Number
Receipt of the certified copies by the International Bureau in a timely manner under PCT Rule 17.1(a) has been acknowledged as evidenced by the attached PCT/IB/304.
- ☐ (A) Application Serial No.(s) were filed in prior application Serial No. filed ; and
- ☐ (B) Application Serial No.(s)
☐ are submitted herewith
☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee

Respectfully Submitted,

OBLON, SPIVAK, McCLELLAND,
MAIER & NEUSTADT, P.C.


C. Irvin McClelland

Registration No. 21,124

Customer Number

22850

Tel. (703) 413-3000
Fax. (703) 413-2220
(OSMMN 05/03)



日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 3 年 3 月 3 1 日
Date of Application:

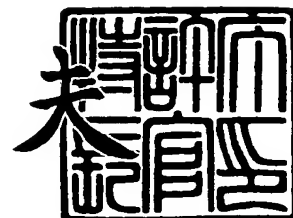
出 願 番 号 特 願 2 0 0 3 - 0 9 6 6 3 1
Application Number:
[ST. 10/C] : [J P 2 0 0 3 - 0 9 6 6 3 1]

出 願 人 東京エレクトロン株式会社
Applicant(s):

2 0 0 4 年 1 月 3 0 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康



出証番号 出証特 2 0 0 4 - 3 0 0 4 7 4 1



【書類名】 特許願

【整理番号】 TYL03006

【提出日】 平成15年 3月31日

【あて先】 特許庁長官 太田 信一郎 殿

【国際特許分類】 H01L 21/3065

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都港区赤坂五丁目 3 番 6 号 T B S 放送センター
東京エレクトロン株式会社内

 【氏名】 堀口 克巳

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都港区赤坂五丁目 3 番 6 号 T B S 放送センター
東京エレクトロン株式会社内

 【氏名】 山本 賢志

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都港区赤坂五丁目 3 番 6 号 T B S 放送センター
東京エレクトロン株式会社内

 【氏名】 伊藤 清仁

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都港区赤坂五丁目 3 番 6 号 T B S 放送センター
東京エレクトロン株式会社内

 【氏名】 菅野 啓一

【特許出願人】

 【識別番号】 000219967

 【氏名又は名称】 東京エレクトロン株式会社

【代理人】

 【識別番号】 100095957

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 亀谷 美明

 【電話番号】 03-5919-3808

**【選任した代理人】****【識別番号】** 100096389**【弁理士】****【氏名又は名称】** 金本 哲男**【電話番号】** 03-3226-6631**【選任した代理人】****【識別番号】** 100101557**【弁理士】****【氏名又は名称】** 萩原 康司**【電話番号】** 03-3226-6631**【手数料の表示】****【予納台帳番号】** 040224**【納付金額】** 21,000円**【提出物件の目録】****【物件名】** 明細書 1**【物件名】** 図面 1**【物件名】** 要約書 1**【プルーフの要否】** 要



【書類名】 明細書
【発明の名称】 プラズマ処理方法
【特許請求の範囲】

【請求項1】 気密な処理容器内に、予めパターンニングされたマスクを用いてHBrガス、O₂ガス、およびSiF₄ガスに、SF₆ガスとNF₃ガスの両方またはいずれか一方を加えた混合ガスを含む処理ガスを導入し、前記処理ガスをプラズマ化することにより、被処理体のシリコン層をエッチングするプラズマ処理方法であって、

前記処理ガスに、さらにCとFを含むガスを添加することを特徴とする、プラズマ処理方法。

【請求項2】 前記CとFを含むガスは、CF₄ガス、C₄F₈ガス、C₅F₈ガス、C₄F₆ガス、CHF₃ガス、またはCH₂F₂ガスの群から選ばれた1つのガス又は2つ以上の組合わせからなる混合ガスであることを特徴とする、請求項1に記載のプラズマ処理方法。

【請求項3】 前記被処理体のシリコン層をエッチングする工程の途中で前記CとFを含むガスを前記処理ガスに添加することを特徴とする請求項1または2に記載のプラズマ処理方法。

【請求項4】 前記被処理体のシリコン層をエッチングする工程の最後まで前記CとFを含むガスを前記処理ガスに添加し続けることを特徴とする請求項3に記載のプラズマ処理方法。

【請求項5】 前記被処理体のシリコン層をエッチングする工程の途中で、一定時間だけ前記CとFを含むガスを前記処理ガスに添加することを特徴とする請求項1または2に記載のプラズマ処理方法。

【請求項6】 前記CとFを含むガスを前記処理ガスに添加を開始するタイミングは、前記エッチングによって形成されるホールの開口径または前記エッチングによって形成される溝の開口径に応じて決定することを特徴とする請求項1～5のいずれかに記載のプラズマ処理方法。

【請求項7】 前記エッチングによって形成されるホールの開口径または前記エッチングによって形成される溝の開口径は、0.2 μm以下であることを特



徴とする、請求項 1～6 のいずれかに記載のプラズマ処理方法。

【請求項 8】 前記予めパターニングされたマスクは、少なくともシリコン含有酸化膜層を含むことを特徴とする請求項 1～7 のいずれかに記載のプラズマ処理方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明はプラズマ処理方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

近年、半導体素子の高密度化、高集積化に相俟って、高アスペクト比を有するホール（または溝）を形成する必要性が生じている。しかも、形成するホールは、側壁がホールの開口部面に対し略垂直でかつ滑らかとなる適正な形状であることが好ましい。

【0003】

従来、シリコン層に高アスペクト比を有するホールを形成するためには、プラズマエッチング法が用いられており、いくつかのエッチング条件が開示されている。

【0004】

一つには、気密な処理容器内で被処理体を載置する下部電極の温度を例えば 60℃以下に設定し、HBr ガス、NF₃ ガス、および O₂ ガスの混合ガス、または HBr ガス、SF₆ ガス、および O₂ ガスの混合ガスを処理ガスとして用い、処理容器内の圧力を 150 mTorr 以下に設定してプラズマエッチング処理を行う方法がある。

【0005】

また、特許文献 1 には、気密な処理容器内で HBr ガス、SiF₄ ガス、SF₆ ガス、および He ガスを含有する O₂ ガスの混合ガスを処理ガスとして用い、処理容器内の圧力を 50～150 mTorr に設定し、電界に対して垂直な 100 Gauss 以下の磁場を与えてエッチングを行う方法が開示されている。

【0006】

これらのエッチング方法によれば、処理ガスとしてHBrガスやSiF₄ガスが採用されているため、ホール内部の側壁に保護膜が形成される。この結果、1 μm以下の小さな開口径を有するホールをマスクの寸法通りに、かつ垂直に形成することが可能となる。

【0007】

【特許文献1】

特開平6-163478号公報

【0008】

【発明が解決しようとする課題】

ところが、従来の技術によれば、マスクの開口部に付着物（例えばSiBr_xO_y（XとYは結合比を示す））が堆積するおそれがあった。マスクの開口径が大きい場合には、ホールを形成するエッチング工程において、この付着物が問題視されることはなかったが、マスクパターンの微細化が進み、マスクの開口部の直径（開口径）が例えば0.2 μm以下になると、マスクの開口部に堆積する付着物がもたらす弊害が顕在化するようになってきた。

【0009】

マスクの開口部に付着物が堆積していくと、開口径が狭まり、形成されるホールの見かけのアスペクト比が大きくなってしまう。アスペクト比が大きくなれば、エッチングレートが低下し、スループットの低下に繋がってしまう。また、アスペクト比が所定値（例えば50）以上になれば、ホール底部をエッチングすることが極めて困難となり、設計上で定められたホール深さ寸法を得ることができなくなる。

【0010】

本発明は、従来のプラズマ処理方法が有する上記問題点に鑑みてなされたものであり、その目的は、シリコン層の深部に達する微細なホール（または溝）を高いエッチングレートで形成することが可能な、新規かつ改良されたプラズマ処理方法を提供することにある。

【0011】

【課題を解決するための手段】

上記課題を解決するため、本発明によれば、気密な処理容器内に、予めパターニングされたマスクを用いてHBrガス、O₂ガス、およびSiF₄ガスに、SF₆ガスとNF₃ガスの両方またはいずれか一方を加えた混合ガスを含む処理ガスを導入し、処理ガスをプラズマ化することにより、被処理体のシリコン層をエッチングするプラズマ処理方法が提供される。そして、このプラズマ処理方法は、処理ガスに、さらにCとFを含むガスを添加することを特徴としている。CおよびFを含むガスの働きによって、マスクの開口部における付着物の堆積が抑制され、また、堆積した付着物が除去される。この結果、マスクの開口部の直径が極めて小さい場合であっても、シリコン層に深いホールを形成することが可能となる。

【0012】

CおよびFを含むガスとして、CF₄ガス、C₄F₈ガス、C₅F₈ガス、C₄F₆ガス、CHF₃ガス、またはCH₂F₂ガスの群から選ばれた1つのガス又は2つ以上の組み合わせからなる混合ガスを採用することができる。

【0013】

マスクの開口部における付着物の堆積を抑制するため、また、堆積した付着物を除去するため、処理ガスに対して、CおよびFを含むガスを例えば10sccm以下の流量で添加することが好ましい。さらに、マスクの材料や厚み、あるいはシリコン層のエッチング量に応じて、CおよびFを含むガスの添加量を調整することが好ましい。なお、予めパターニングされたマスクは、少なくともシリコン含有酸化膜層を含むことが好ましい。

【0014】

本発明によれば、被処理体のシリコン層をエッチングする工程の最初から、または、途中から処理ガスに対するCおよびFを含むガスの添加が開始される。また、処理ガスに対するCおよびFを含むガスの添加は、エッチング工程の最後まで、または、途中まで継続される。例えば、マスクの開口部における付着物の堆積状況、エッチングによって形成されるホールの開口径またはエッチングによっ

て形成される溝の開口幅に応じてCおよびFを含むガスの添加時間を設定することが好ましい。これによって、マスクの開口部への付着物の堆積が抑制される。また、マスクの開口部に付着物が過剰に堆積しても、この付着物を適切に除去することが可能となる。

【0015】

エッチングによって形成されるホールの開口径またはエッチングによって形成される溝の開口幅が $0.2\mu\text{m}$ 以下の場合、ホールの開口部への付着物の堆積が特に問題となる。本発明によれば、マスクの開口部における付着物の堆積量が抑制されるため、ホールの開口径または溝の開口幅が $0.2\mu\text{m}$ 以下であっても、シリコン層に深いホールまたは溝を形成することが可能となる。

【0016】

なお、本明細書において、 1mTorr は $(10^{-3} \times 101325 / 760)$ Pa、 1sccm は $(10^{-6} / 60) \text{m}^3 / \text{sec}$ とする。

【0017】

【発明の実施の形態】

以下に添付図面を参照しながら、本発明にかかるプラズマ処理方法の好適な実施の形態について詳細に説明する。なお、本明細書および図面において、実質的に同一の機能構成を有する構成要素については、同一の符号を付することにより重複説明を省略する。

【0018】

図1は、本発明の実施の形態にかかるプラズマ処理装置100の構成を示す概略断面図である。プラズマ処理装置100の処理容器102は、表面が例えばアルマイト処理（陽極酸化処理）されたアルミニウムから構成されており、その表面は、図示しない石英からなる板状部材によって覆われている。また、処理容器102は、図1に示すように、接地されている。

【0019】

処理容器102内には、被処理体、例えば半導体ウェハWが載置されるサセプタとしての機能を兼ね備えた下部電極104が配置されている。下部電極104は、昇降軸（図示せず）により上下動自在である。

【0020】

下部電極104の下面側には、絶縁材となる石英部材105と、ベローズ109に接触する導電部材107が形成されている。ベローズ109は、例えばステンレスから成り、処理容器102に接触している。これにより、導電部材107は、ベローズ109および処理容器102を介して接地される。さらに、石英部材105、導電部材107、およびベローズ109を囲うように、ベローズカバー111が設けられている。

【0021】

下部電極104の被処理体載置面には、高圧直流電源108に接続された静電チャック110が設けられている。この静電チャック110を囲うようにフォーカスリング112が配置されている。

【0022】

下部電極104には、整合器116を介して、2系統の高周波電源、すなわち第1高周波電源118および第2高周波電源138が接続されている。第1高周波電源118が出力する電力の周波数（第1周波数という）は、第2高周波電源138が出力する電力の周波数（第2周波数という）よりも高く設定される。このようにプラズマ処理装置100においては、2系統の高周波電力が下部電極104に与えられ、かつ、各電力は独立して制御される。この結果、被処理体に形成されるホールの側壁が曲線状に削れる現象、いわゆるボーイング現象の発生が防止され、より適正なホール形状が得られる。

【0023】

第1周波数としては例えば27.12MHz以上とするのが好ましい。特に処理空間に磁場を形成しない場合には27.12MHz以上とするのが好ましい。但し、磁石130などを設けて処理空間に磁場を形成する場合には後述するように第1周波数を13.56MHzとしてもよい。これは上記磁場によりプラズマ密度を高くしてシリコンのエッチングレートを大きくできるからである。第2周波数としては例えば3.2MHzに設定するのが好ましい。

【0024】

処理容器102の上部には、処理容器102を介して接地された上部電極12

4が備えられている。上部電極124には、処理ガスを導入する多数のガス吐出孔126が設けられている。各ガス吐出孔126は、ガス供給源（図示せず）に接続されており、これらガス吐出孔126を経由して処理空間122内に処理ガスが供給される。

【0025】

処理容器102の外部には、処理空間122に水平な磁場を与える磁石130が配置されている。磁石130により例えば被処理体中央部で170 Gaussの磁場が処理空間122に形成される。このように磁石130による磁場が170 Gauss以上の場合には、高周波電源は、たとえば13.56 MHzの単一構成としてもよい。

【0026】

処理容器102の下部には、真空ポンプなどの排気系（図示せず）に接続された排気孔128が設けられている。この構成によって、処理容器102内は所定の真空度に保たれる。

【0027】

次に、図1および図2を参照しながら、プラズマ処理装置100の動作について説明する。図2は、エッチング前の被処理体200の構成を示す概略断面図である。

【0028】

被処理体200として、例えば直径が200 mmの半導体ウェハWを用いる。そして、図2に示すように、その表面にはフォトリソグラフィ工程により直径150 nmのホール形状がパターンニングされたレジスト層202を形成しておく。レジスト層202の下層には、例えばCVD酸化膜であるシリコン酸化膜層（SiO₂膜）204が約700～2200 nmの厚さで形成されている。そのシリコン酸化膜層204の下層には、シリコン窒化膜層（SiN膜）206が約200 nmの厚さで形成されている。なお、シリコン窒化膜層206とシリコン（Si）層210との間に、ゲート絶縁膜であるシリコン酸化膜層（SiO₂膜）が、数nm以下の厚さで形成される場合もある。

【0029】

このように構成された被処理体 200 に対して、レジスト層 202 をマスクとして用いてエッチング処理を施し、シリコン酸化膜層 204 およびシリコン窒化膜層 206 をパターンニングする。その後、図 3 に示すように、レジスト層 202 を除去する。シリコン酸化膜層 204 およびシリコン窒化膜層 206 は、シリコン層 210 をエッチングするためのマスクとなる。

【0030】

所定の形状にパターンニングされたシリコン酸化膜層 204 およびシリコン窒化膜層 206 をマスクとして備えた被処理体 300 を、被処理体搬入口（図示せず）から処理容器 102 内に搬入し、下部電極 104 上に載置する。排気口 128 から真空ポンプ（図示せず）を用いて処理容器 102 内を排気した後、ガス供給源（図示せず）からガス吐出口 126 を介して処理ガスを処理容器 102 内に導入する。

【0031】

処理ガスとしては、HBr ガス、NF₃ ガス、SiF₄ ガス、O₂ ガスに、CF₄ ガスを加えた混合ガスを使用する。なお、NF₃ ガスに代えて、SF₆ ガスを加えるようにしてもよい。処理ガスの流量は、例えば HBr ガスが 100～600 sccm、O₂ ガスが 1～60 sccm、SiF₄ ガスが 2～50 sccm、SF₆ ガスを用いる場合 1～60 sccm、NF₃ ガスを用いる場合 2～80 sccm である。また、CF₄ ガスの流量は、5～50 sccm に調整される。

【0032】

処理ガスの流量を所定値に調整し、各部の温度を所定の温度に設定した状態で、処理容器 102 内の圧力を所定の値（例えば 200 mTorr）に設定する。また、下部電極 104 には、第 1 高周波電源 118 から第 1 周波数を有する第 1 高周波電力を、整合器 116 を介して印加するとともに、第 2 高周波電源 138 から第 2 周波数を有する第 2 高周波電力を、整合器 116 を介して印加する。

【0033】

第 1 周波数は、上述したように 27.12 MHz 以上とするのが好ましい。したがって、ここでは第 1 周波数を 40.0 MHz に設定する。一方、第 2 周波数については、3.2 MHz に設定する。また、第 1 高周波電源 118 の出力電力

を例えば400～600Wに調整し、高周波電源138の出力電力を例えば100～800Wに調整する。

【0034】

このように2系統の異なる周波数を有する高周波電力を下部電極104に供給することで、処理ガスの解離が促進され、より効率よくシリコン層210をエッチングすることが可能になる。

【0035】

以上のように、プラズマ処理装置100の準備が整ったところで、被処理体300に対するエッチング処理が開始される。被処理体300は、図3に示すように、シリコン酸化膜層204およびシリコン窒化膜層206（以下まとめてマスク材ともいう）をマスクとしてエッチングされ、シリコン層210にホールが形成される。

【0036】

次に、表1を参照しながら、本実施の形態にかかるプラズマエッチング条件について説明する。表1には、シリコン層210に直径0.15 μ m（設計値）のホールを形成する場合のエッチング条件を示している。なお、上部電極124の温度、処理容器102の内壁の温度、下部電極104の温度はそれぞれ、80℃、60℃、120℃とする。

【0037】

（表1）

工程	圧力 (mTorr)	電力 (W)		処理ガス流量 (sccm)					基板裏面圧力 (Torr)		エッチング 時間 (sec)
		40.0 MHz	3.2 MHz	HBr	NF ₃	CF ₄	SiF ₄	O ₂	中央部	周縁部	
BT	50	400	100	150	2.5	0	0	1	13	15	10
S1	125	700	500	220	32	0	0	14	13	15	60
S2	200	600	500	270	35	0	0	3	10	15	20
S3	200	600	800	270	35	0	10	18	10	15	240
S4	200	600	800	270	35	10	10	18	10	15	240

【0038】

本実施の形態にかかるプラズマエッチング方法（プラズマ処理方法）は、表1に示したように、複数の工程を有する。

【0039】

まず、エッチング処理が行われるシリコン層210（図3）の表面に自然酸化などで生じたシリコン酸化膜層を除去するブレイクスルー工程BTを行う。

【0040】

続く第1工程S1において、上方の内径が大きく下方の内径が小さい形状、例えば漏斗形状を有するホールを形成する。かかる形状のホールを形成するために、この工程では、深さ方向へ進むにつれてホールの直径が小さくなるように、シリコン層210をエッチングする。この時点でのホールの深さは、例えば1.5 μ mである。なお、第1工程S1をさらに複数の工程に分けて、各工程に異なるエッチング条件を設定するようにしてもよい。これによって、より設計値に近いホール形状を得ることが可能となる。

【0041】

続いて、シリコン層210をさらにエッチングする第2工程S2、第3工程S3、および第4工程S4を行う。これらの工程を経て、シリコン層210に形成されるホールは、設計値で定められた深さに達する。表1に示したように、第2工程S2、第3工程S3、第4工程S4にはそれぞれ、異なるエッチング条件が

設定されている。このように、エッチング条件を変化させながらホールを形成することによって、最終的に得られるホールの形状を設計値に一致させることが可能となる。

【0042】

以上の各工程を実施することによって、被処理体300には、所定の直径および深さを有するホールが形成されることになる。

【0043】

シリコン膜210に微細なホールを形成する場合、ホールがシリコン層210の下方へ成長するに従いシリコンのエッチング速度が低下する。この点、本実施の形態にかかるプラズマエッチング方法によれば、エッチング工程の後半、すなわち第3工程S3、第4工程S4において、高周波電源138の出力を増加させている。これによって、プラズマ中のイオンのエネルギーが増大し、シリコン膜210の深い位置におけるエッチングレートの低下が防止される。さらに、第3工程S3、第4工程S4においてO₂ガスの流量を増加させて、マスク材の上部への保護膜の堆積を促進させている。この結果、高いエッチング選択性が確保される。なお、高周波電源138の出力電力を上昇させるタイミングと、O₂ガスの流量を増加させるタイミングは、実質的に同一であることが好ましい。

【0044】

次に、シリコン層210に対するエッチング処理中に、マスク材の開口部に堆積する付着物について、図4を参照しながら説明する。

【0045】

本実施の形態にかかるプラズマエッチング方法においては、処理ガスとして、HBrガス、NF₃ガス（またはSF₆ガス）、SiF₄ガス、O₂ガスに、CF₄ガスを加えた混合ガスを使用している。このうち、特にHBrガスやSiF₄ガスは、ホール内壁に対する保護膜の形成に寄与する。ホール内壁に保護膜が形成されることによって、本実施の形態のように、シリコン層210に開口径0.15μm（設計値）の微細なホールを、マスクの寸法通りに、かつ垂直に、高い精度で形成することが可能となる。

【0046】

ところが、シリコン層 210 にホールを形成するためのエッチングが進行していくと、マスクの開口部に付着物（例えば SiBr_xO_y （XとYは結合比を示す））が過剰に堆積してしまう。

【0047】

図4（a）は、エッチング開始から 330 sec が経過した時点、すなわち第3工程 S3 が終了した時点での被処理体の概略断面（シリコン層 210 の下部は省略する）を示している。この時点でシリコン層 210 には、最終的な深さに達する前のホール 210 a とホール 210 b が形成されている。また、既に 330 sec 間エッチングを行っているため、エッチング前に厚さ D_0 であったシリコン酸化膜層 204 は、ホール入口の肩部で、厚さ D_a （シリコン酸化膜マスク残量ともいう）となっている。

【0048】

さらに、図4（a）に示すように、マスクの開口部には、付着物 310 が堆積している。このため、マスクの開口径 R_{a1} （103 nm）は、ホール 210 a、210 b の最上部の開口径 R_{a2} （133 nm）よりも狭くなっている。

【0049】

図4（b）は、エッチング開始から 570 sec が経過した時点、すなわち第4工程 S4 が終了し、エッチング処理の全工程が完了した時点での被処理体の概略断面（シリコン層 210 の下部は省略する）を示している。図4（a）に示した状態から、さらに 240 sec の間シリコン層 210 に対するエッチング処理を継続しているため、ホール入口におけるシリコン酸化膜層 204 の肩部の厚さは、 D_a から D_b に減少している。

【0050】

図4（b）に示すように、エッチング処理の全工程が完了した時点でのマスクの開口部にも、付着物 310 が堆積している。しかし、この付着物 310 の堆積量は少なく、エッチング処理の全工程が完了した時点でのマスク開口径 R_{b1} （127 nm）は、エッチング開始から 330 sec 経過した時点でのマスク開口径 R_{a1} （103 nm）よりも拡張されている。

【0051】

本実施の形態にかかるエッチング条件によれば、第4工程S4において、処理容器102内へCF₄ガスが導入される。このCF₄ガスによって、マスク開口部への付着物の堆積が抑制される。以下、このCF₄ガスがもたらす効果についてさらに詳しく説明する。

【0052】

図4(c)は、図4(b)と同様に、エッチング開始から570sec経過した時点、すなわち第4工程S4が終了し、エッチング処理の全工程が完了した時点での被処理体の概略断面を示している。ただし、図4(c)に示した被処理体は、図4(b)に示した被処理体とは異なり、CF₄ガスを含まない処理ガスを用いてエッチング処理が施されたものである。具体的には、図4(b)に示した被処理体のエッチング処理については、第4工程S4において、処理容器102内へ10sccmの流量のCF₄ガスを導入している(表1参照)。これに対して、図4(c)に示した被処理体のエッチング処理については、いずれの工程においても処理容器102内へCF₄ガスを導入していない。

【0053】

つまり、図4(b)に示した被処理体を得るためのエッチング条件と、図4(c)に示した被処理体を得るためのエッチング条件の相違点は、処理容器102内へのCF₄ガスの導入の有無にある。図4(b)と図4(c)を比較すれば明らかなように、処理ガスにCF₄ガスを添加した場合と、添加しない場合において、マスク開口部への付着物の堆積量に大きな差が生じる。

【0054】

処理ガスにCF₄ガスを添加しない場合、ホールが深くなっているエッチング処理の後半では、マスク開口部における付着物310の堆積量が多くなる。そして、図4(c)に示すように、エッチング処理の完了時にはマスクの開口径Rc1(108nm)は、極めて狭くなってしまう。

【0055】

一方、処理ガスにCF₄ガスを添加した場合、図4(b)に示すように、エッチング処理の全工程が完了した時点でのマスク開口部における付着物310の堆積量は少ない。そして、マスクの開口径Rb1(127nm)は、処理ガスにC

F₄ ガスを添加しない場合のマスクの開口径 R c 1 (108 nm) に比して広がっている。これは、処理ガスに C F₄ ガスを添加した場合、ホールが深くなっているエッチング処理の後半において、マスクの開口径が広い状態でシリコン層 210 のエッチングが進められていることを意味する。

【0056】

ところで、処理ガスに C F₄ ガスを添加した場合のホール 210 a, 210 b の最上部開口径 R b 2 (140 nm) と、処理ガスに C F₄ ガスを添加しない場合のホール 210 a, 210 b の最上部開口径 R c 2 (139 nm) に顕著な差異は見られない。すなわち、処理ガスに C F₄ ガスを添加しても、シリコン層 210 に形成されるホールの内径は拡大せず、適正なホール形状が得られる。

【0057】

ただし、処理ガスに C F₄ ガスを添加した場合と添加しない場合とにおいて、ホール入口のシリコン酸化膜層 204 の厚さ D b / D c には差が生じている。図 4 (b) と図 4 (c) を比較することによって、処理ガスに C F₄ ガスを添加すると、マスク材を構成するシリコン酸化膜層 204 のエッチングレートが高まることがわかる。少なくとも、シリコン層 210 にホールを形成するためのエッチング工程が完了するまで、シリコン酸化膜層 204 が残存するように、C F₄ ガスの流量および処理容器 102 内への導入タイミングを調整することが好ましい。C F₄ ガスの流量や処理容器 102 内への導入タイミングについては後述する。

【0058】

次に、表 1 に示したエッチング条件に基づいてシリコン層 210 をエッチングした結果シリコン層 210 に形成されるホールの形状について図 5 を参照しながら説明する。

【0059】

図 5 (a) は、図 4 (a) に対応するものであり、エッチング開始から 330 sec 経過した時点におけるホール 210 a, 210 b の深さ方向の形状を示している。また、図 5 (b) は、図 4 (b) に対応するものであり、エッチング開始から 570 sec 経過した時点、すなわち C F₄ ガスが処理容器 102 内に導

入される第4工程S4が終了し、エッチング処理の全工程が完了した時点におけるホール210a, 210bの深さ方向の形状を示している。また、図5(c)は、図4(c)に対応するものであり、エッチング開始から570sec経過した時点、すなわちCF₄ガスが処理容器102内に導入されずにエッチング処理の全工程が完了した時点におけるホール210a, 210bの深さ方向の形状を示している。なお、ホール形状を正確に把握するために、図5(a)(b)(c)には、薬液(例えば、フッ化水素酸)によって洗浄された被処理体の概略断面を示している。したがって、エッチング処理中にホール内壁に形成される保護膜や、マスク材の開口部に堆積した付着物は、図中に表れていない。

【0060】

図5(a)に示したように、エッチング開始から330sec経過した時点において、ホール210a, 210bの深さD_{s a}は、5.37μmに達している。また、この時点でのホール210a, 210bの最上部開口径R_{a t}は、162nmであり、ホール210a, 210bの底部の直径R_{a b}は、127nmである。

【0061】

エッチング開始から330sec後の図5(a)の状態から、さらにシリコン層210に対するエッチング処理(第4工程S4)を240sec間継続すると、図5(b)に示すように、ホール210a, 210bの深さD_{s b}は、7.81μmに達する。この第4工程S4では、処理容器102に対してCF₄ガスが導入されている。

【0062】

これに対して、第4工程S4において、処理容器102に対してCF₄ガスが導入されなければ、図5(c)に示すように、ホール210a, 210bの深さD_{s c}は、7.65μmにとどまる。

【0063】

図5(b)と図5(c)を比較すれば明らかなように、処理ガスにCF₄ガスを添加する場合と、添加しない場合において、シリコン層210に形成されるホールの深さ寸法に大きな差が生じる。この差は、マスク開口部における付着物3

10の堆積量に依存するものである。

【0064】

図4(c)に示したように、処理ガスに CF_4 ガスを添加しない場合には、マスク開口部に付着物310が過剰に堆積してしまい、マスクの開口径 R_{c1} が狭くなる。この結果、形成途中のホール210a、210bの見かけのアスペクト比が大きくなってしまう。ここで言う「見かけのアスペクト比」とは、“ホールの深さ/マスク開口径 R_{c1} ”から求められるものである。

【0065】

見かけのアスペクト比が大きくなれば、特に、ホールが深くなるエッチング後半におけるホール210a、210bの底部付近でのエッチングレートが著しく低下してしまい、設計で定められたホール深さ寸法を得ることができないおそれもある。

【0066】

図4(b)に示したように、処理ガスに CF_4 ガスを添加することによって、マスク開口部における付着物310の堆積が抑制され、マスクの開口径 R_{b1} が拡張される。この結果、ホールが深くなるエッチング後半におけるホール210a、210bの底部付近でのエッチングレートの低下が防止され、所定のホール深さ寸法を得ることが可能となる。第4工程S4において処理ガスに CF_4 ガスを添加した場合は、この第4工程S4におけるシリコン層210のエッチングレートは、 610 nm/min となり、これは処理ガスに CF_4 ガスを添加しない場合のシリコン層210のエッチングレート 570 nm/min に比べて良好な値である。

【0067】

なお、処理ガスに CF_4 ガスを添加した場合(図5(b))、ホール210a、210bの最上部開口径 R_{bt} は、 171 nm であり、ホール210a、210bの底部の直径 R_{bb} は、 137 nm である。これに対して、処理ガスに CF_4 ガスを添加しない場合(図5(c))、ホール210a、210bの最上部開口径 R_{ct} は、 168 nm であり、ホール210a、210bの底部の直径 R_{cb} は、 135 nm である。このように、処理ガスに CF_4 ガスを添加しても、シ

リコン層 210 に形成されるホールの内径を拡大させてしまうことはない。

【0068】

ここで、処理容器 102 内へ導入する CF_4 ガスの流量、および、その導入のタイミングについて検討する。

【0069】

表 2 は、処理容器 102 に導入する CF_4 ガスの流量と、マスク材を構成するシリコン酸化膜層 204 のエッチングレートおよび面内均一性（半導体ウェハ面内におけるエッチングレートの均一性）との関係を示している。

【0070】

(表 2)

CF_4 ガス流量 (sccm)	エッチングレート (nm/min)	面内均一性 (%)
0	55.5	± 8.2
5	70.4	± 15.9
10	79.3	± 15.9
30	117.6	± 9.6
50	153.8	± 16.7

【0071】

処理容器 102 へ導入する CF_4 ガスの流量が増加すると、シリコン酸化膜層 204 のエッチングレートは上昇する。一方、面内均一性に関しては CF_4 ガスの流量に依存せず、ほぼ一定の値を示している。したがって、特にエッチングレートに着目して CF_4 ガスの流量を設定することが好ましい。具体的には、ホール形成のためのエッチング処理が完了する前にマスク材を構成するシリコン酸化膜層 204 が消失しないように CF_4 ガスの流量を調整する。例えば、5～50 sccm の範囲で CF_4 ガスの流量を調整することが好ましい。本実施の形態にかかるエッチング条件下では、表 1 に示したように、 CF_4 ガスの流量を 10 sccm に調整している。

【0072】

以下、本実施形態における処理容器 102 内への CF_4 ガスの導入タイミングおよび導入期間について図面を参照しながら説明する。 CF_4 ガスを処理容器 1

0 2 内へ導入する期間（処理ガスに CF_4 ガスを添加する期間）については、エッチング工程の最初から最後まで、エッチング工程の最初から途中まで、またはエッチング工程の途中から最後までいずれかに設定することが可能である。また、エッチング工程の一定の時間だけ、 CF_4 ガスを処理容器 1 0 2 内へ導入するようにしてもよい。 CF_4 ガスを処理容器 1 0 2 内へ導入するタイミングやその期間については、エッチングによって形成するホール 2 1 0 a, 2 1 0 b の開口径や深さ、マスク材を構成するシリコン酸化膜層 2 0 4 の厚さ、処理ガスの種類等に応じて決定することが好ましい。

【 0 0 7 3 】

本実施形態においては、 CF_4 ガスの導入タイミングおよび導入期間については例えば以下に説明するように決定する。図 6 は、シリコン層 2 1 0 にホール 2 1 0 a, 2 1 0 b を形成するためのエッチングの時間と、マスクの開口径との関係を示している。

【 0 0 7 4 】

図中の○（丸）は、処理ガスに CF_4 ガスを添加しない場合のマスクの開口径を示している。□（四角）は、エッチング開始から 3 3 0 s e c 後、すなわち第 4 工程 S 4 から、処理ガスに CF_4 ガスを添加した場合のマスクの開口径を示している。□（四角）で示した CF_4 ガスの添加タイミングは、表 1 のエッチング条件に一致する。また、△（三角）は、エッチング開始から 9 0 s e c 後、すなわち第 3 工程 S 3 から、処理ガスに CF_4 ガスを添加した場合のマスクの開口径を示している。

【 0 0 7 5 】

図 6 の○（丸）に示した結果によれば、エッチング時間 9 0 ～ 3 3 0 s e c の間、マスクの開口部に大量に付着物が堆積し、3 3 0 s e c 後からは付着物の新たな堆積量は僅かであることがわかる。エッチング時間 9 0 ～ 3 3 0 s e c の間は、ホール 2 0 1 a, 2 0 1 b がまだ浅く、シリコン層 2 1 0 のエッチングレートが高いため、マスクの開口部への付着物の堆積が多くなると考えられる。

【 0 0 7 6 】

したがって、表 1 のエッチング条件に基づく□（四角）で示した CF_4 ガスの

添加タイミングに代えて、△（三角）でプロットしたように、エッチング開始 90 sec 後から（またはエッチングの最初から）、330 sec 経過後まで（またはエッチングが終了するまで）、処理ガスに CF_4 ガスを添加するようにしてもよい。この場合、マスクの開口部に対する付着物の堆積そのものを抑制することが可能となる。

【0077】

また、□（四角）でプロットしたように、マスク開口部への付着物の堆積が終息するエッチング開始 330 sec 後から処理ガスに CF_4 ガスを添加することによって、マスク開口部に堆積した付着物が CF_4 ガスによってエッチング除去される。

【0078】

処理ガスに CF_4 ガスを添加することによって、 CF_4 ガスを添加しない場合に比べてマスクの開口径が 30 nm 程度拡張する。そして、処理ガスに対する CF_4 ガスの添加のタイミングによって、マスク開口部への付着物の堆積を抑制する効果、もしくは、マスク開口部に堆積した付着物を除去する効果、またはこれら両方の効果が得られる。

【0079】

処理ガスに対する CF_4 ガスの添加のタイミングについては、マスクの開口径がシリコン層 204 のエッチングレートの低下に繋がる程度にまで狭まったとき（例えば、110 nm 以下になったとき）、または、マスクの開口部に付着物が過剰に堆積し始めたときにあわせることが好ましい。また、処理ガスに対する CF_4 ガスの添加を停止するタイミングについては、マスク開口部への付着物の堆積が収まったとき（例えば、エッチング開始 330 sec 後）にあわせることが好ましい。また、エッチング処理の最後まで CF_4 ガスを添加し続けることも可能である。ただし、この場合は特に、マスクであるシリコン酸化膜層 204 が消失しないように、 CF_4 ガスの流量を適正な値に調整する必要がある。

【0080】

以上のように、本実施の形態にかかるプラズマエッチング方法によれば、 HBr ガス、 NF_3 ガス（または SF_6 ガス）、 SiF_4 ガス、 O_2 ガスが混合され

て成る処理ガスに、適切な量の CF_4 ガスが適切なタイミングで添加される。この CF_4 ガスの働きによって、マスクの開口部における付着物の堆積が抑制され、また、堆積した付着物が除去される。この結果、マスク開口部の直径が極めて小さい場合であっても、シリコン層 210 に深いホールを形成することが可能となる。

【0081】

以上、添付図面を参照しながら本発明にかかるプラズマ処理方法の好適な実施形態について説明したが、本発明はかかる例に限定されない。当業者であれば、特許請求の範囲に記載された技術的思想の範疇内において各種の変更例または修正例に想到し得ることは明らかであり、それらについても当然に本発明の技術的範囲に属するものと了解される。

【0082】

例えば、エッチングによってシリコン層にホールを形成する場合について本発明の実施の形態を説明したが、シリコン層に溝を形成する場合に本発明を適用してもよい。ウェハに（例えばシリコン層に）溝を形成する場合にもホールを形成する場合と同様の効果が得られる。なお、ウェハに溝を形成する場合には、上述したホールの開口径は、溝の開口幅に相当する。

【0083】

また、本実施の形態では、処理ガスに CF_4 ガスを添加する場合に即して本発明の実施の形態を説明したが、 CF_4 ガ스에代えて、 C_4F_8 ガス、 C_5F_8 ガス、 C_4F_6 ガス等の CF 系ガス、または、 CHF_3 ガス、 CH_2F_2 ガス等の CHF 系ガスを処理ガスに添加するようにしてもよい。いずれのガスを採用してもマスク材の開口部における付着物の堆積抑制効果が得られる。

【0084】

また、本実施の形態にかかるプラズマエッチング方法について、 SF_6 ガスまたは NF_3 ガスのいずれか一方を含む処理ガスを用いて説明したが、本発明はこれに限らず、 SF_6 ガスと NF_3 ガスをともに含む処理ガスを用いるようにしても同等の効果が得られる。

【0085】

【発明の効果】

以上詳述したように本発明によれば、HBr ガス、NF₃ ガス（またはSF₆ ガス）、SiF₄ ガス、O₂ ガスが混合されて成る処理ガスに、C および F を含むガスが添加される。このC および F を含むガスの働きによって、マスクの開口部における付着物の堆積が抑制され、また、堆積した付着物が除去される。この結果、マスクの開口部の直径が極めて小さい場合であっても、シリコン層に深いホールを形成することが可能となる。

【図面の簡単な説明】**【図 1】**

本発明の実施の形態にかかるプラズマ処理装置の構成を示す概略断面図である。

【図 2】

同実施の形態において、シリコン層のエッチングに用いられるマスクが形成される前の被処理体の構成を示す概略断面図である。

【図 3】

同実施の形態において、シリコン層のエッチングに用いられるマスクが形成された時点での被処理体の構成を示す概略断面図である。

【図 4】

マスクの開口部における付着物の堆積状況を示す被処理体の概略断面図である。

【図 5】

ホール形成状態を示す被処理体の概略断面図である。

【図 6】

マスクの開口径とエッチング時間との関係を示す図である。

【符号の説明】

100：プラズマ処理装置

102：処理容器

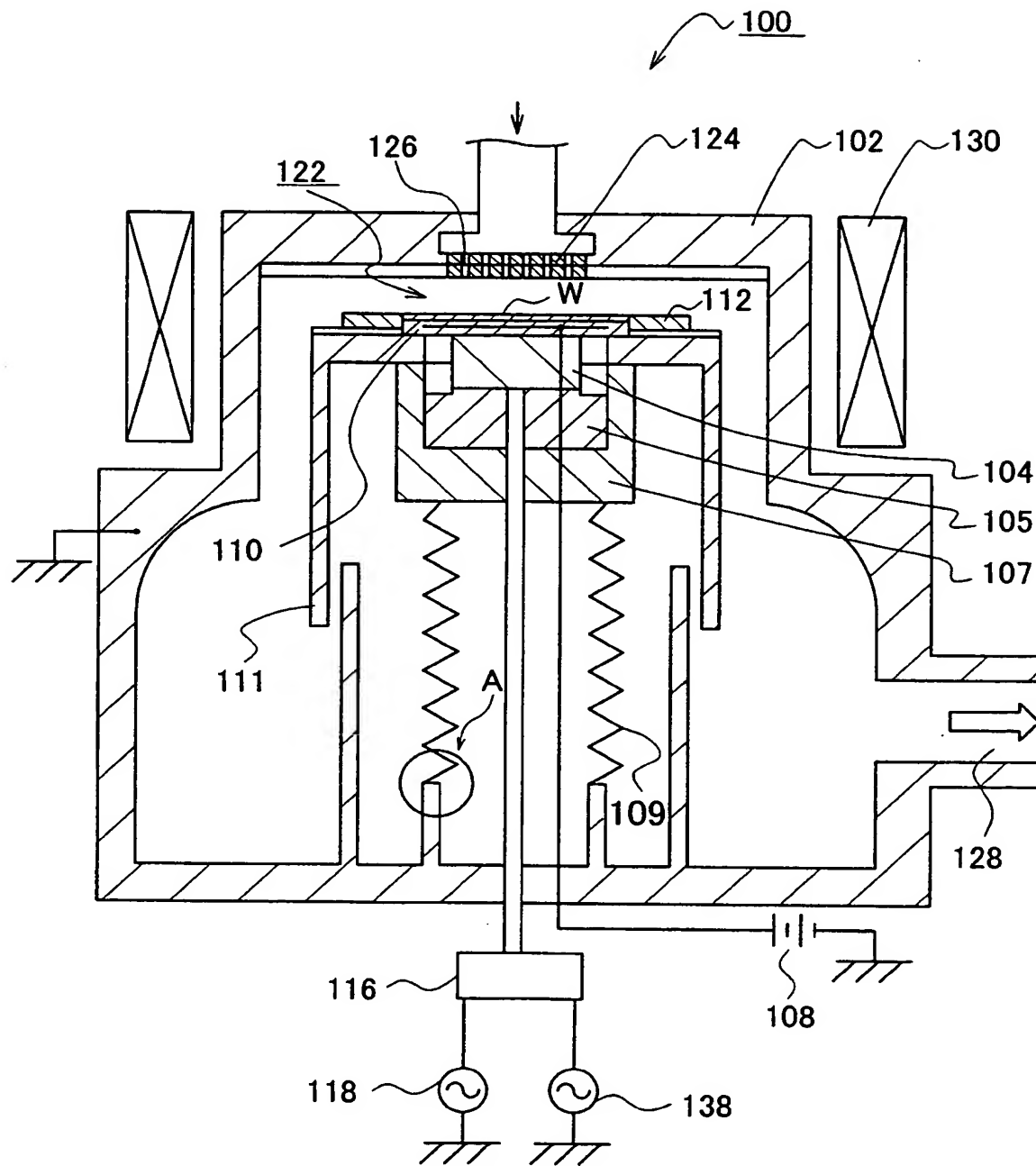
104：下部電極

105：石英部材

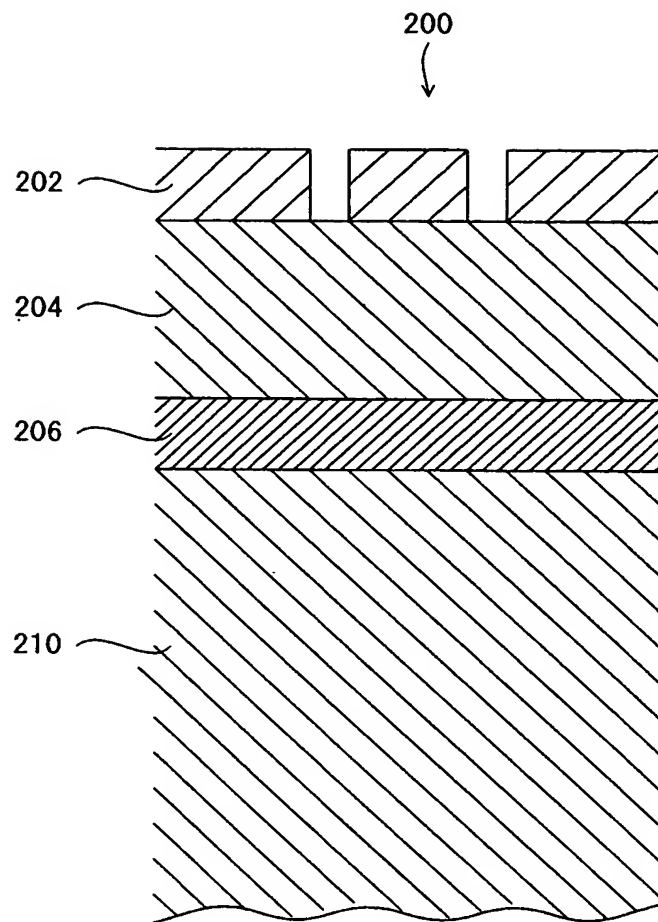
1 0 7 : 導電部材
1 0 8 : 高圧直流電源
1 0 9 : ベローズ
1 1 0 : 静電チャック
1 1 1 : ベローズカバー
1 1 2 : フォーカスリング
1 1 6 : 整合器
1 1 8 : 高周波電源
1 2 2 : 処理空間
1 2 4 : 上部電極
1 2 6 : ガス吐出孔
1 2 8 : 排気管
1 3 0 : 磁石
1 3 8 : 高周波電源
2 0 2 : レジスト層
2 0 4 : シリコン酸化膜層
2 0 6 : シリコン窒化膜層
2 1 0 : シリコン層
2 1 0 a, 2 1 0 b : ホール
W : 半導体ウエハ

【書類名】 図面

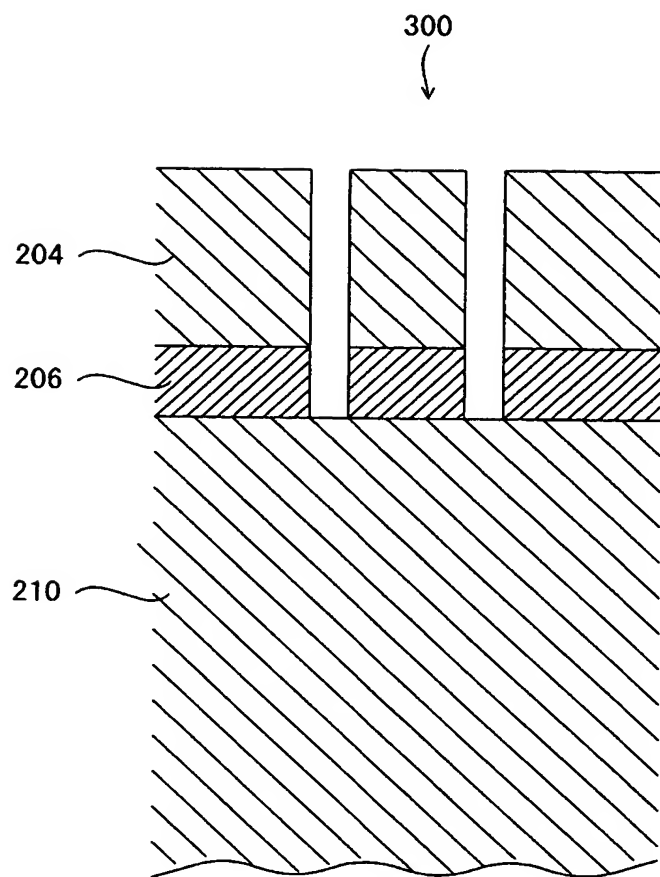
【図 1】



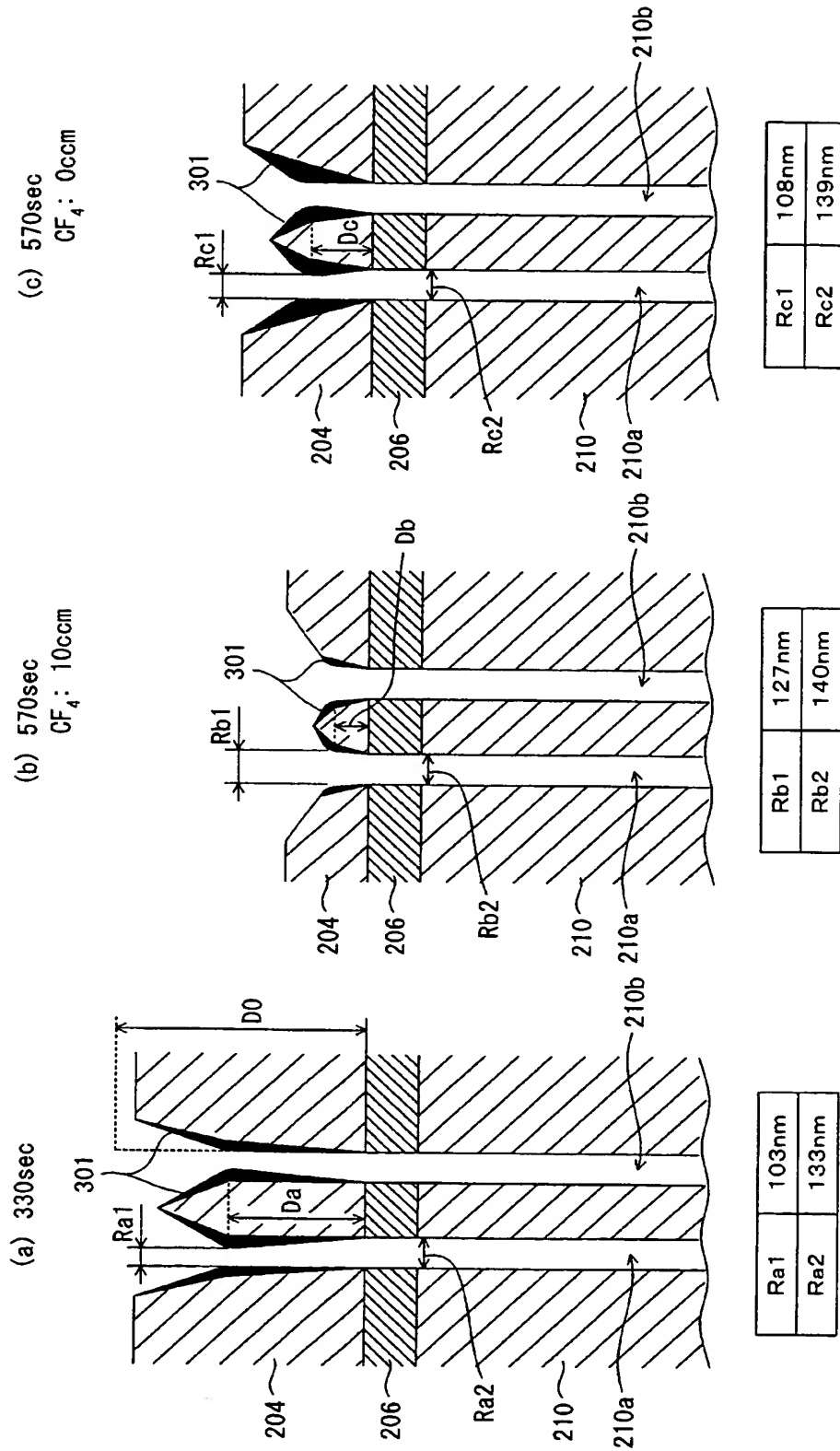
【図 2】



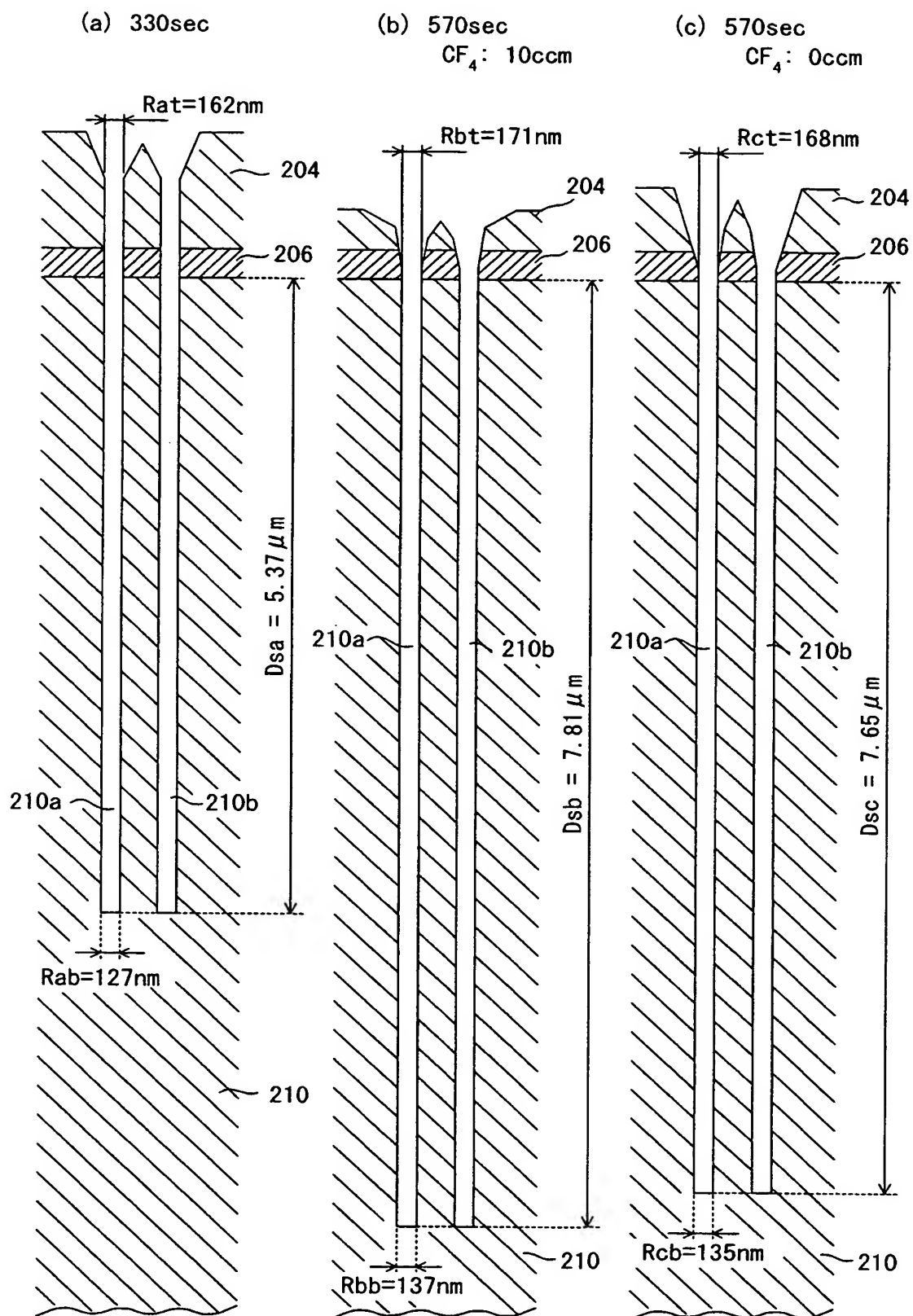
【図 3】



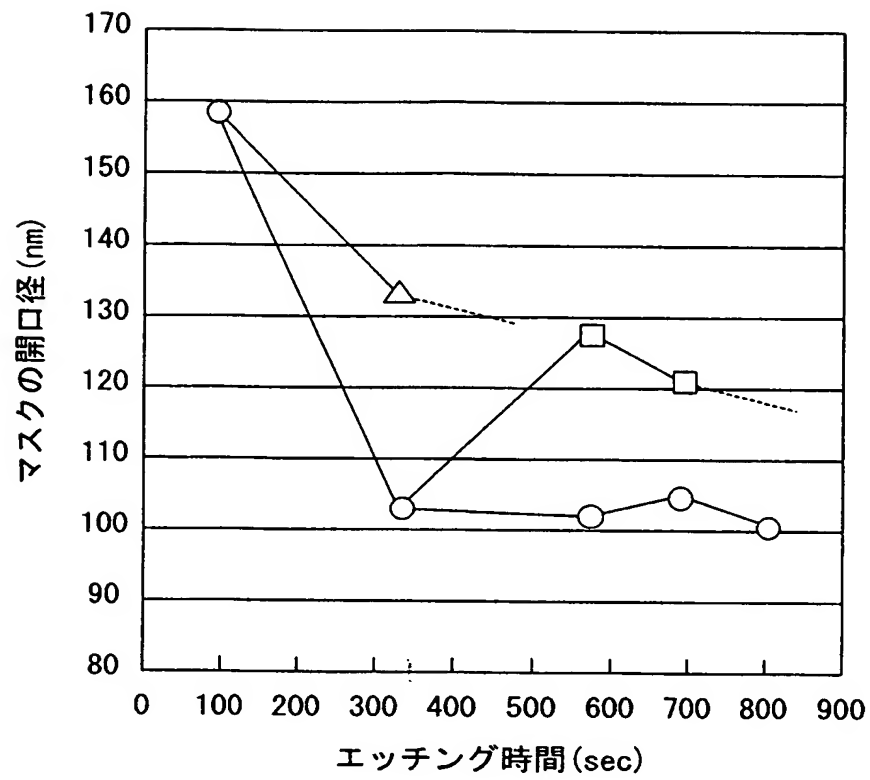
【図 4】



【図 5】



【図 6】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 シリコン層の深部に達する微細なホール（または溝）を高いエッチングレートで形成することが可能なプラズマ処理方法を提供する。

【解決手段】 処理ガスに CF_4 ガスを添加しない場合（c），ホールが深くなっているエッチング処理の後半では，マスク開口部における付着物 310 の堆積量が多くなり，マスクの開口径 R_{c1} は，極めて狭くなってしまう。処理ガスに CF_4 ガスを添加した場合（b），エッチング処理の全工程が完了した時点でのマスク開口部における付着物 310 の堆積量は少ない。マスクの開口径 R_{b1} は，処理ガスに CF_4 ガスを添加しない場合のマスクの開口径 R_{c1} に比して広くなっている。これにより，シリコン層に高アスペクト比を有する微細なホールまたは溝を形成することが可能となる。

【選択図】 図 4

特願 2 0 0 3 - 0 9 6 6 3 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [0 0 0 2 1 9 9 6 7]

1. 変更年月日 1 9 9 4 年 9 月 5 日
[変更理由] 住所変更
住 所 東京都港区赤坂5丁目3番6号
氏 名 東京エレクトロン株式会社
2. 変更年月日 2 0 0 3 年 4 月 2 日
[変更理由] 住所変更
住 所 東京都港区赤坂五丁目3番6号
氏 名 東京エレクトロン株式会社